

---

# TECNOLOGIA DE LA INFORMACION, INNOVACION Y COMPLEJIDAD

FERNANDO SÁEZ VACAS

*Catedrático. Departamento Ingeniería de Sistemas  
Telemáticos. E.T.S. Ingenieros de Telecomunicaciones.  
Universidad Politécnica de Madrid*

«A todo crecimiento de complejidad  
en la organización le corresponden  
nuevas potencialidades de desorga-  
nización» (Morin)

El autor ha reformulado recientemente la cuestión de la innovación tecnológica en las empresa —entendida como el proceso y el conjunto de cambios que se producen por causa de una tecnología— como un problema de gestión de complejidad sociotécnica (1, capítulos 13 a 16), (2). Entre otros puntos, su enfoque pone de manifiesto que un obstáculo considerable para la innovación tecnológica es la propia tecnología (todo el universo tecnológico de la información en nuestro caso), tanto por su intrínseca complejidad como por la complejidad del campo de relaciones que crea con el sistema humano. Es esta última complejidad la que nos interesa fundamentalmente en esta exposición.

Los niveles del sistema humano implicados son diversos, pero en una empresa es útil, a efectos conceptuales, concretarlos en dos: la organización y el individuo. En el primero identificamos especialmente al conjunto, mejor o peor articulado, de todos los factores que definen, deciden y controlan qué y cuánta tecnología y su para qué, su cómo y su cuándo en el ámbito de la empresa. Con el nivel «individuo» denotamos a cada uno de los componentes humanos de la organización. El triángulo de relaciones formado por la conexión de estos tres vértices —organización, individuo y tecnología— delimita el cam-

po de complejidad antes mencionado, donde se desarrolla la parte más importante del proceso de innovación tecnológica de la empresa.

Inicialmente, el enfoque triangular sirve para focalizar macroscópicamente la atención sobre aspectos cruciales. Después, si se concreta el análisis en desvelar los detalles internos, éste nos revela que, puesto que el vértice «individuo» simboliza a todos los individuos de la empresa, el triángulo contiene otros tantos triángulos interconectados (formal e informalmente) que representan los dominios donde se desarrollan diferentes microprocesos personales de innovación tecnológica. El proceso de innovación tecnológica en cada empresa es la resultante de la interacción de múltiples microprocesos de innovación tecnológica en un marco concreto de organización y tecnología. Con ello llegamos a la conclusión de que la clave final del éxito del proceso se esconde en el desarrollo de tales microprocesos.

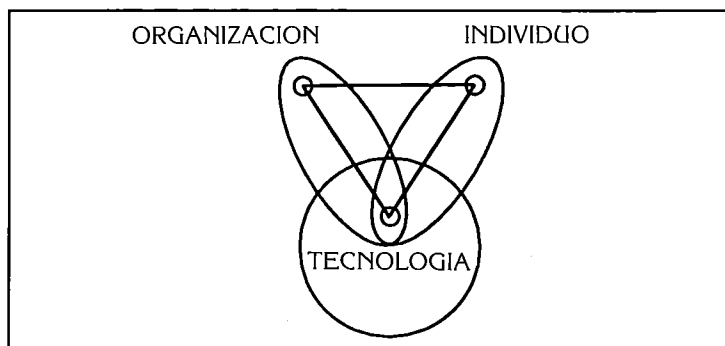


FIG. 1. Los tres vértices del proceso de innovación tecnológica en la empresa

Entre los ingredientes de la tecnología tan compleja de nuestros días está su capacidad para generar incertidumbre, una circunstancia básica del nuevo entorno de las empresas y, por tanto, un condicionante de la actitud

de los individuos con respecto a la tecnología, lo que vale tanto como decir de los microprocesos de innovación. ¿Hasta qué punto están preparados empresa e individuos para afrontar un nivel elevado de incertidumbre? Más globalmente, ¿están preparados para generar la clase y la capacidad de complejidad necesaria para autoorganizarse en el cambiante medio tecnológico?, ¿han comprendido bien los sectores dirigentes empresariales la naturaleza de las fuerzas que condicionan y hacen viable un proceso de innovación por medio de la tecnología?

### ¿Simplicidad o complejidad organizativa?

Aparentemente, hay dos tesis contrapuestas. Mélése (3) y Sáez Vacas (1) (2) sostienen que para que una empresa pueda afrontar un entorno cambiante debe aumentar la complejidad de su organización, mientras que Keen (4) defiende la idea de que la tecnología actual de la información permite rediseñar las empresas para lograr la simplicidad organizativa, y con ella ventajas competitivas. Solamente una de las dos tesis puede ser cierta, o bien hay una diferencia profunda entre los lenguajes de ambas partes. Veámoslo.

Peter Keen, autor y consultor sobre *management* de considerable influencia, escribe en su último libro (4, capítulo 4) que ante la complejidad creciente del entorno—globalización de la economía con la correspondiente hipertextensión de las actividades, constricciones temporales, discontinuidades políticas, económicas y sociales, reestructuración incesante de negocios—muchas empresas cometen el error de responder aumentando su complejidad organizativa. A complejidad oponen complejidad. Y emplean la tecnología de la información para hacerlo. La usan para soportar una organización en la que se crean más niveles de dirección y en la que se arbitran procedimientos más rigurosos de control, en resumen, en la que se potencia una burocracia más

minuciosa y una departamentalización más especializada de la actividad, cuyas consecuencias patológicas acaban erosionando la flexibilidad, la capacidad de respuesta en el tiempo y en el espacio y la moral de la empresa.

Por el contrario, su propuesta consiste en reducir la complejidad organizativa y sus mencionados efectos nocivos por medio de la adecuada tecnología, como, por ejemplo, la videoconferencia, el correo electrónico y toda la tecnología de colaboración (*groupware* y otras técnicas), el intercambio electrónico de datos; en general, el conjunto integrado por las técnicas de informática y telecomunicaciones. En el fondo, su enfoque propugna enfatizar el uso de las inmensas y nuevas posibilidades de comunicación de la tecnología, por lo que hay que sobrentender que hasta ahora se habría hecho excesivo hincapié en sus probadas capacidades de control.

El mismo uso incorrecto de la tecnología moderna dentro de las empresas y de cualquier otra institución social fue puesto de manifiesto mucho antes que por Keen, y de manera más imaginativa e incisiva (cibernética), por S. Beer (5): la Ley Cibernética de la Variedad Requerida establece que a la complejidad hay que combatirla con complejidad, pero ¡con el mismo tipo de complejidad! Así pues, aunque cronológicamente haya sucedido a la inversa, Beer parece representar aquí la antítesis de Keen.

Nuestra postura personal en este asunto está más próxima a las de Beer y Mèlèse, y por ser más «compleja» permite detectar algunas de las lagunas e ingenuidades del enfoque de Keen. Veremos si al final conseguimos sintetizar ambos enfoques y demostramos que lo que Keen debe de querer decir por «simplicidad organizativa» es lo mismo que nosotros entendemos por «complejidad organizativa», si bien él emplea una terminología impropia y, lo que es peor, no desarrolla un análisis mínimamente crítico. Clarificar estas diferencias constituiría sólo un mero ejercicio académico, si no fuera porque el concepto tiene una inevitable repercusión operativa.

## Realismo tecnologista y enfoque cibernético

Por intereses, desconocimiento u otras razones, Keen manifiesta una clase de miopía llamada optimismo tecnologista que le impide ver cualquiera de estos dos fenómenos: el primer de ellos es que la tecnología forma parte y es uno de los elementos más significativos del entorno actual de las empresas; en segundo lugar, que la tecnología avanzada es muy compleja.

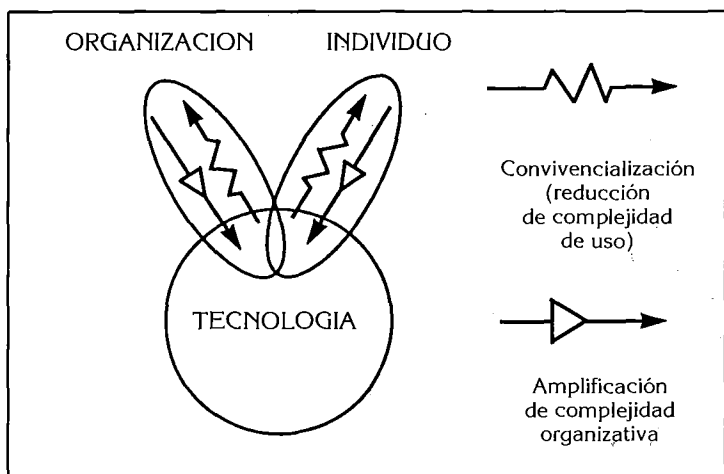


FIG. 2. Representación de las estrategias de adaptación de complejidades por referencia a la tecnología.

De la primera circunstancia se deduce directamente la implicación insoslayable de los *managers* con relación a la tecnología; la tecnología ya no es un problema técnico, sino que es como mínimo también un problema estratégico. Beer así lo considera en su modelo del sistema viable para el diseño y diagnóstico de empresas cuando sitúa este asunto al nivel del sistema 4 (inteligencia) (6). Sobre esta cuestión volveremos posteriormente en el apartado *Managers y «quiebre»*.

La segunda hace emerger el cúmulo de dificultades que rodea a la tecnología y lo coloca en el centro mismo de un terreno por conquistar, donde el premio se consigue sólo después de vencer la complejidad de dicha tecnología. A este último punto de vista podríamos denominarlo realismo tecnologista.

Intentando ser realistas es como hemos llegado al esquema triangular de la figura anterior —también una simplificación, a fin de cuentas—, en la que aparece explícitamente la tecnología como uno de sus vértices rodeado de un ámbito circular, con el que pretendemos representar simbólicamente el terreno de las dificultades que tanto la organización como los individuos tienen que atravesar para poseerla.

Siendo realistas es como hemos llegado a la conclusión cibernética de que hay que dividir el camino que han de recorrer los vértices para fundirse en un punto, que es lo que representaría la integración de individuos, organización y tecnología en un solo sistema sociotécnico. Ello implica, por un lado, amplificar la complejidad de la organización (y de los individuos) en lo tocante a la comprensión y uso de una determinada tecnología; y, por otro, reducir la complejidad relacional (no la complejidad intrínseca, siempre creciente) de esa misma tecnología. Desarrollaremos una explicación breve de estos mecanismos en próximos apartados. Los esquematizamos por ahora en la figura 2, donde empleamos símbolos ideados por Beer para ilustrar gráficamente los mecanismos de amplificación y reducción de complejidad. (Nota: en teoría cibernética, a la complejidad se la denomina variedad.)

## Complejidad de la tecnología

Por muchos esfuerzos que se hagan —y, sin duda, se hacen— para escamotear la complejidad de la tecnología ante sus usuarios, todos los percibimos ahí, y como

mínimo nos produce respeto. En honor a la verdad es preciso reconocer que la sofisticación y potencia de la tecnología, en tantas ocasiones por lo demás innecesaria, ha crecido incomparablemente más que su complejidad aparente. ¡Llor a los sectores científicos e industriales!

Pese a todo, y simplemente por analogía, cualquiera de nosotros puede hacerse una idea intuitiva de ella sólo con intentar desentrañar y después dominar el conjunto de manuales de instrucción de una columna de música de alta fidelidad: amplificador, sintonizador, giradiscos, disco compacto, ecualizador y mando a distancia. Tecnología para el hogar.

En el libro citado en (1) hemos dedicado varios capítulos a glosar la complejidad de la tecnología ofimática, que, siendo una porción de la tecnología de la información presente en toda empresa moderna, muy bien puede servirnos en forma resumida de ejemplo para este artículo.

Si observamos la diversidad de capacidades de cómputo y la correspondiente cohorte de propiedades informáticas, encontramos un enorme y sutilísimo entramado de máquinas, que va desde ordenadores personales de varias familias y potencias hasta los grandes computadores (*mainframes*), pasando por una amplia variedad de minicomputadores y computadores medios y un surtido floreciente de estaciones de trabajo (*workstations*). Por lo que respecta a las memorias externas, existe todo tipo de tecnologías: disquetes de 5"1/4 y de 3"1/2, cintas, discos compactos ópticos, más su correspondiente aparatología. En cuanto al *software*, ¿qué técnico es capaz hoy en día de comprender y manejar ni siquiera una parte del confuso abanico de programas disponibles, desde aquellos que resuelven simples y específicas funciones de oficina hasta los que componen un grupo funcionalmente más rico de programas integrados?

La perspectiva es igualmente abrumadora en el campo de la tecnología de comunicación computadorizada. Dis-

ponemos de redes de área local controladas por sistemas operativos muy diferentes, conexiones a redes de larga distancia, nuevas generaciones de centrales telefónicas PABX y, ya emergiendo, aparecen las redes digitales de servicios integrados para datos, texto, voz e imagen.

Con este panorama estrictamente técnico no se agota la complejidad de la tecnología, sino que ésta se acentúa por las prácticas de un mercado agresivo, en el que prolifera la oferta vertiginosa de toda clase de productos, herramientas, máquinas, servicios y soluciones, hasta crear gran confusionismo en la mente y en las prácticas de los clientes. Sin temor a exagerar, podría decirse que esta desquiciada rotación en el mercado, producida por una industria agónicamente competitiva, está más allá de la velocidad de aprendizaje social: incluso técnicamente, está completamente probado que los métodos de aplicación de toda esta tecnología caminan retrasados en varias generaciones.

El impacto de tal complejidad se traduce en un alto volumen de fallos, problemas, desencantos, costes incontrolados y también es responsable de reforzar las naturales resistencias humanas a su implantación. Hace pocas semanas, un artículo en la revista *Time* hacía un balance descorazonador del uso y difusión de algunas de las técnicas mencionadas por Keen, que nosotros interpretamos como un reflejo de la improcedencia del optimismo tecnologista y de sus secuelas metodológicas. El artículo menciona a la empresa *Reliance Insurance*, que, después de invertir millones de dólares en tecnología informática, incluyendo miles de ordenadores, un sistema de correo electrónico y una modernísima red de comunicaciones, estimó que las mejoras en la productividad habían sido nulas. Sus directivos esperaban que la productividad laboral se hubiese disparado. ¿Por qué esperaban una cosa así y por qué no sucedió lo que estaba previsto?



## Oportunidades: p.i.p.c.

Una vez desplegado el cuadro de dificultades, tal vez convenga dedicar unas líneas a deshacer la impresión de que nuestro realismo tecnologista pueda tratarse en realidad de un pesimismo tecnologista. Entre los tres enfoques arquetípicos definidos por Hirschheim (ver 1, p. 222) con respecto a la tecnología, pesimismo, optimismo y pluralismo, queremos militar en este último.

Nuestro convencimiento acerca del horizonte inmenso de oportunidades empresariales y de cualquier otro tipo, gracias al uso «adecuado» de la tecnología de la información, está muy bien asentado —como veremos ahora—, aunque también lo está la cláusula de superación de las diferentes complejidades implicadas como llave de apertura hacia ese horizonte. No hay oportunidades sin complejidad y, como discutiremos más adelante, no hay oportunidades sin riesgos.

La capacidad de una empresa concreta para integrar tecnología de información se sublima en lo que pudiéramos llamar su proceso de información per cápita (p.i.p.c.), concepto desarrollado por el autor en (7), y que resumimos a continuación.

A diferencia de la renta per cápita, la capacidad de proceso de la información no tiene un límite conocido, específico y cuantificable, ya que su «magnitud» depende finalmente de la formación, de la capacidad mental, del entusiasmo y de la habilidad organizativa de los individuos, de los colectivos y de las sociedades. No procede de un reservorio acotado. La información es inagotable, se puede multiplicar en tantas copias como se desee y la oferta de herramientas para la productividad supera ampliamente a lo que pueda concebir nuestra imaginación.

Tenemos tres techos de posibilidades de proceso de la información:

a) Uno, teórico y relativamente fuera de nuestro alcance inmediato, que es el de toda la capacidad de

cálculo y comunicación del mundo, representada por el tejido universal de redes y ordenadores.

b) Otro, objetivamente ya disponible, y formado por todas las funciones, programas y servicios de información instalados en nuestro entorno tecnológico de trabajo.

c) Y, por fin, el conjunto de posibilidades que realmente aprovechamos o sabemos aprovechar. Este es el p.i.p.c.

Incrementar el nivel c) con el objetivo de alcanzar el nivel b) es contribuir a mejorar el p.i.p.c. de la empresa, lo que nos remite a la necesidad de diseñar medidas para conseguirlo, de las que hablaremos a partir del apartado *Adaptación de complejidades*.

## Riesgos: incertidumbre

El entorno general se parece cada día más a un agitado conjunto de turbulencias, en el que el comportamiento de las empresas atraviesa por fases incontroladas e impredecibles, lo que guarda un lejano parecido con los fenómenos que estudia la ciencia del caos. La tecnología, incorporada irreversiblemente a nuestra vida en cuanto que es un conquista del ser humano, contribuye a esta situación.

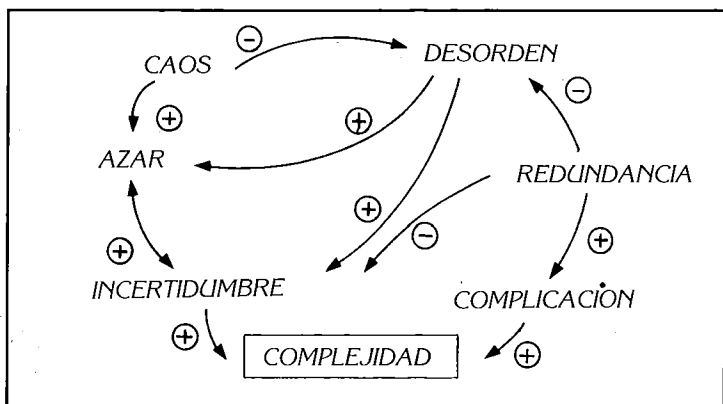


FIG. 3. Mapa de factores relacionados con la complejidad.

Sin temor a exagerar podría decirse que la tecnología provoca, debido a su complejidad, fenómenos abruptos que dibujan una fina e indefinida línea fronteriza entre el cielo y el infierno, mientras no tengamos una mejor comprensión de la génesis de dichos fenómenos. Hace algo más de un año, un error en sólo uno de los programas del sistema computadorizado de telefonía de larga distancia de la empresa A.T.&T. produjo un desastre económico y social de dimensiones incalculables, que para muchas empresas resultó de consecuencias fatales. Estos días, un fallo en el avanzado sistema electrónico del automóvil del piloto español Carlos Sainz lo ha dejado fuera de carrera y en unos segundos lo ha separado en forma brusca a una distancia totalmente inesperada del campeonato mundial de rallies, cuando lo estaba acariciando ya con sus dedos.

Ciertamente, la intersección de los sistemas tecnológicos con los sistemas sociales origina un nudo de relaciones de complejidad antropotécnica —o sociotécnica— que se manifiesta específicamente por fenómenos habituales relacionados con el desorden, la incertidumbre, la desorganización, la inestabilidad, la entropía, la borrosidad, etcétera. Este tipo de complejidad para el campo de la informática fue presentado por Sáez Vacas en 1983 como la tercera capa dentro de un modelo de tres capas de complejidad (8). Precisamente, varios de los ejemplos sobre complejidad anteriormente relacionados pertenecen a las dos primeras capas.

Para comprender de forma general la situación hay que considerar que de la integración de dos sistemas tan dispares no tiene más remedio que emerger un híbrido con nuevas y desconocidas propiedades. Se enfrentan dos clases de complejidades, la complejidad ordenada de los mecanismos técnicos y la complejidad desorganizada del hombre y de los sistemas sociales. En la famosa clasificación de sistemas de K. Boulding, en 1956, las tecnologías de la información se corresponderían con los sistemas de nivel 3, estudiados por la Física, las Ciencias

Naturales y la Ingeniería, mientras que el ser humano y los sistemas socioculturales, niveles 7 y 8, pertenecen a los campos de la Biología, de la Historia y de las Ciencias Sociales.

Así pues, uno de los componentes esenciales de la complejidad sociotécnica, y por ello una fuente de riesgos para cualquier sistema social, es la incertidumbre. Para nosotros, el concepto de incertidumbre tiene una significación muy amplia, que aquí no tenemos espacio para analizar. Siguiendo el enfoque de Klir (10), completándolo con otras ideas, hemos llegado en (11) a un gráfico como el de la figura 3, en la que la presencia de un signo + o de un signo - expresa que un determinado factor contribuye a aumentar o disminuir la presencia del factor situado al extremo de la flecha.

## Adaptación de complejidades

Prevenir las improcedentes secuelas del optimismo tecnologista supone recurrir a estrategias derivadas de las medidas propuestas en el apartado *Realismo tecnologista y enfoque cibernético* y esquematizadas en la figura 2, sobre la cual volvemos ahora. Una parte de la estrategia es aceptar que la organización tiene siempre que incrementar su complejidad si quiere evolucionar, como hacen los organismos vivos. Mèlès, en (3), nos da algunas pistas, que relacionaremos primero y explicaremos después.

- a) Una organización es un sistema de representaciones mentales, difícilmente separables de su entorno.
- b) Todas las empresas tienen que afrontar el problema de información desde un punto de vista global.
- c) La autonomía y la innovación requieren complejidad.
- d) Dicha complejidad tiene que distribuirse entre todos los niveles de la organización.

En una organización, los efectos de numerosos «sistemas transversales y clases de lógicas» —sistemas tecnológicos, comerciales, financieros, sociales, sindicales, espaciales, simbólicos, etcétera— intersectan y se combinan (compitiendo o cooperando), y en su mayoría están determinados y controlados en alguna parte del entorno, es decir, fuera de la empresa. En otras palabras, cada organización es un nodo de un gran sistema político-social-económico, y este nodo es a su vez un sistema cuyos componentes interactivos son las representaciones mentales de un variado conjunto de agentes externos e internos.

Está claro que un aspecto de la dificultad del problema reside en que para que dicho nodo evolucione en términos de organización, información y comunicación, con objeto de adaptarse a la evolución del entorno, ha de equiparse adecuadamente para percibir, asociar e integrar numerosas variables disímiles. En esta frase descubrimos algo nuevo: la existencia de un cierto umbral tecnológico que tiene que superar la empresa como organización en su crecimiento de complejidad.

Una vez superado un determinado nivel en sus relaciones con la complejidad de la tecnología, esto es, conseguida una cierta destreza en el conocimiento, comprensión y aplicación de la tecnología, la empresa habrá logrado una condición necesaria, aunque no suficiente, para aumentar su propia complejidad ante el entorno complejo, es decir, para sobrevivir en él. A partir de ahí vendrán, si acaso, las oportunidades para la competencia y el éxito.

Pero también hay que impulsar otro aspecto de la estrategia de adaptación, consistente en exigir a los sectores industriales y a otros agentes de la tecnología que recorran simultáneamente su parte del camino y reduzcan el grado de complejidad visible de sus productos y servicios.

Por vía de ejemplo, a continuación desglosaremos las dos caras complementarias de la estrategia de adaptación en algunas pautas a seguir, que, precisamente por

ser todas ellas de sentido común, resulta sorprendente lo poco o poco rigurosamente que se aplican en la práctica. Las completaremos posteriormente con algunas indicaciones relativas a la incertidumbre, los *managers* y la tipología cognitiva para la innovación.

La empresa, por su parte, debería:

- Rediseñar, transformar y explicar su organización en forma integrada con las nuevas herramientas, convirtiendo las estructuras burocráticas en una estructura más flexible, productiva y descentralizada. En nuestra opinión, la referida explicación ha de incluir insoslayablemente un escenario lo más pormenorizado posible de la organización resultante.

- Seleccionar y formar a sus recursos humanos, dando prioridad a características tales como la iniciativa personal, capacidad de autogestión, un sentido del *timing* y de la coordinación y un interés por aprender las actividades de la empresa y de su entorno para definir puestos de trabajo más ricos (cualificados y responsables).

- Dedicar el tiempo y el tipo de formación que sean necesarios para enseñar suficientemente cada función y su herramienta tecnológica, dependiendo de su grado de complejidad.

- Hacer de la convivencialidad del *hardware* y del *software*, vista globalmente, uno de los criterios prioritarios en la toma de decisiones para la adquisición de material tecnológico.

- Organizar internamente una red humana de asistencia técnica con capacidad para resolver todas las dificultades y dudas con que pudieran tropezarse los usuarios de la tecnología en sus procesos de aprendizaje, incluso después de una buena formación.

A la industria tecnológica y a los técnicos hay que pedirles (exigirles):

- Reforzar las cualidades de naturalidad de las interfaces hombre-máquina. (Hay ya un gigantesco campo

técnico de actuación conocido por C. H. I.: *Computer Human interaction*.)

- Publicitar su oferta de productos y servicios con menos fantasía y mayor énfasis en cómo pueden aquellos resolver los problemas organizativos reales.

- Seleccionar, y no sobremultiplicar, las opciones funcionales de sus productos y servicios.

- Estudiar los mecanismos de diseño, implantación y gestión de la complejidad de la tecnología (un esfuerzo en esta línea lo encontramos en 1 y 10).

- Desarrollar o promover el desarrollo de métodos sociotécnicos (llamados métodos «blandos», ver ejemplos en 11) para integrar la tecnología de la información.

- Simplificar todo cuanto sea posible el lenguaje técnico (otro trabajo del autor, 12, se ha elaborado con esta orientación).

Todas estas medidas que acaban de enunciarse son aplicables a los vértices «organización» y «tecnología» de nuestro triángulo simbólico. Con todas ellas se generan las condiciones de contorno que envuelven las opciones individuales: en nuestro modelo, las relaciones de cada individuo con la organización y la tecnología. Las estrategias de amplificación/reducción de complejidad en los circuitos personales han de obedecer a los mismos principios teóricos de la cibernética, aunque para cada individuo concreto deberá diseñarse un microproceso propio, sujeto a las circunstancias personales y a sus reacciones ante los cambios previstos por la tecnología.

Hay mucho que investigar en el campo de los microprocesos, que, como hemos dicho anteriormente, condicionan la viabilidad de la innovación tecnológica. Queremos subrayar que en buena parte son de índole cognitiva y por desgracia son el factor olvidado por los estrategas y tratadistas empresariales. En una de las columnas que periódicamente escribimos para una revista técnica, a este factor lo hemos denominado «psicología de la innovación tecnológica».

## C & C: un cerebro completo

Aunque no sea más que en forma de apunte brevísimo, nos referiremos ahora al empleo de un arma cognitiva hecha a la medida para afrontar entornos desordenados y hasta caóticos: el cerebro humano.

El cerebro no tiene semejanza alguna, ni orgánica ni funcional, con un ordenador. El cerebro es la máquina más compleja que se conoce. Consta de dos partes principales, el hemisferio derecho y el hemisferio izquierdo, designados familiarmente como cerebro derecho y cerebro izquierdo, donde tienen su sede distintas funcionalidades.

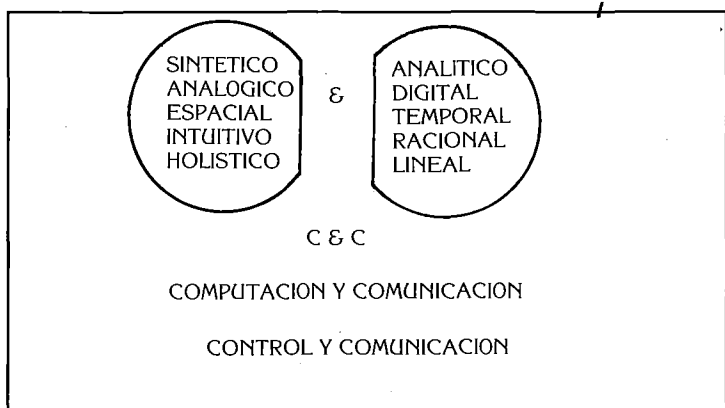


FIG. 4. Diagrama simbólico de las funciones cerebrales y de las tendencias tecnológicas y metodológicas.

El cerebro izquierdo alberga la clase de aptitudes más potenciadas por la cultura occidental, es el depósito del racionalismo y del orden, mientras que el cerebro derecho es el cerebro «caótico», donde se procesan los enfoques globales, la intuición, la creatividad, el riesgo. La cultura occidental margina, cuando no penaliza, estos enfoques.

Metafóricamente, podríamos establecer un paralelismo



mo entre estos dos cerebros y las tecnologías de la información y las organizaciones. Al cerebro izquierdo le corresponde la computación (informática clásica), que permite un control riguroso y desarrolla de manera natural organizaciones estrictamente ordenadas, burocráticas. El cerebro izquierdo está especializado en cálculo y control. Con el cerebro derecho asociamos las comunicaciones, que expanden el radio de acción, y las organizaciones no formalizadas, caóticas.

A las situaciones de turbulencia ambiental, con su complejidad llena de incertidumbre, parece que hay que responder con una complejidad del mismo tipo, de la que las máquinas no son capaces, pero sí el ser humano (niveles 7 y 8 en la escala de Boulding). La conclusión teórica es que las empresas innovadoras a medio y largo plazo tienen que diseñar su organización y elegir y formar a los individuos componentes en forma similar a la que sugiere la utilización integrada de los dos cerebros: C & C, complejidad ordenada y complejidad desordenada, a la vez. Esta es una consecuencia de una ley cibernética que establece que el sistema de control debe ser un modelo del sistema controlado: el papel del sistema controlado lo cumple aquí el entorno, y la empresa es el sistema de control. La empresa tiene que ser capaz de funcionar en forma racional al tiempo que absorbe las oscilaciones, decide soluciones para estados de incertidumbre y se reconfigura fácilmente.

En realidad, las siglas C & C tienen una significación ya acuñada en la jerga técnica. Las emplean los japoneses para expresar la nueva tecnología de la información resultante de la fusión progresiva de los ordenadores y las telecomunicaciones (*Computers & Communications*). Pero nos venía nemotécnicamente al pelo para resaltar la idea de que, a nuestro juicio, la nueva organización para la innovación debe imitar y potenciar el uso compaginado de los dos cerebros (C & C), utilizar como soporte y motor la nueva tecnología de la información (C & C, Computación y Comunicación) y como guía metodológi-

ca la cibernética (C & C, Control y Comunicación: Cibernética es la ciencia del control y la comunicación en los seres vivos y en las máquinas).

Con todo ello se hace evidente que las empresas innovadoras son o serán aquellas que desarrollen una cierta cultura «racional» del riesgo, un cerebro completo. Citemos una vez más a Edgar Morin: «Toda concepción ideal de una organización que no fuera más que orden, funcionalidad, armonía, coherencia es un sueño demente de ideólogo o de tecnócrata. La racionalidad que eliminase el desorden, la incertidumbre, el error, no es otra cosa que la irracionalidad que eliminaría la vida».

### *Managers y «quiebre»*

Quedan todavía por decir unas palabras acerca de los *managers* y su papel en relación con la tecnología. Anteriormente se subrayó su implicación «tecnológica» en el área estratégica en cuanto que la tecnología constituye un factor omnipresente en el entorno actual. Son los *managers* quienes tienen el poder y la responsabilidad de modelar la organización de la empresa, y por tanto desempeñan un rol esencial en las estrategias de complejidad esbozadas en este artículo. A ellos les incumbe desarrollar y explicar el escenario futuro ante los componentes de la empresa, como una de las estrategias básicas adaptativas desplegadas en el apartado *Adaptación de complejidades*.

Pero es necesario, y no solamente conveniente, que se impliquen en la tecnología, pues de otro modo apenas podrán intuir su campo de posibilidades. El p.i.p.c. no tendría sentido alguno si no fuera orientado en un marco concreto de posibilidades. Las culturas empresariales hoy vigentes expresan que lo primero de todo son los objetivos y necesidades de la empresa, y éstos señalan las necesidades de información, que serán resueltas por los técnicos con los medios tecnológicos pertinentes. Es

la clásica relación «primero los fines y luego los medios». En (12, capítulo 14) nosotros sostenemos la necesidad de crear un doble vínculo entre medios y fines. Allí hemos escrito lo siguiente:

«Es el directivo, en su papel de gestor del cambio y al nivel que le concierna, el responsable de construir y gobernar este doble vínculo en un entorno de tecnología de la información considerada en sentido amplio. Es imprescindible, por ejemplo, que, sin renunciar en ningún momento a elaborar objetivos, se preocupe por conocer la naturaleza de esta tecnología, porque ella le condiciona los límites y posibilidades de esos mismos objetivos y hasta la organización de su empresa, problemática para la que su cultura no le ha preparado.»

Siguiendo a Winograd y Flores (13), toda herramienta tecnológica forma parte de una compleja red social. La significación de una nueva herramienta reside en cómo se incorpora a esa red, modificándola. Para comprender una herramienta tecnológica no basta con lograr una comprensión funcional de cómo se usa, sino que es preciso alcanzar una comprensión global de la red de tecnologías y actividades implicadas. ¿No les corresponde esta tarea a los *managers*, a todos los *managers*, incluyendo de forma especial a los *managers* técnicos?

La condición para que se produzca esta clase de comprensión es que haya un rompimiento (*breaking down* en el original inglés, «quiebre» en el decir de Flores). Al utilizar una herramienta, por ejemplo un procesador de texto, sus dificultades y ventajas emergen al emerger la estructura antes transparente relativa a la actividad de escribir: tal es el rompimiento. En el quiebre se cruzan los mundos del usuario y del técnico y se crea la encrucijada donde construir el doble vínculo. Un caso penetrante del mundo de posibilidades que puede abrirse a un usuario y de su comprensión de la nueva red social si llega al quiebre nos lo ofrecía recientemente una entrevista con el semiólogo y novelista Umberto Eco hablando sobre el ordenador y el impacto sobre su «negocio» (14).

Manejando este y otros conceptos de este importante libro (13), diríamos que el proceso de innovación tecnológica, antes expresado en lenguaje cibernético, transcurriría a lo largo de una cadena de quiebre, que suponen, a escala individual y social, la compartición de los mundos de usuarios y técnicos, hasta llegar a un punto de ajuste de complejidades, que Winograd y Flores, siguiendo a Heiddeger, llaman *readiness-to-hand* (manipulabilidad, *Zuhandenheit* en el original alemán), y que nosotros, siguiendo a Illich, llamamos convivencialidad del sistema sociotécnico.

Terminaremos esta glosa del concepto de quiebre indicando que éste es aplicable también a los especialistas técnicos, lo que nos daría una pista para comprender la falta de empuje innovador en muchas empresas ante las oportunidades abiertas por algunas interesantes nuevas tecnologías.

## Conclusiones

A lo largo de este trabajo hemos analizado un marco para el diseño de la empresa en un entorno cambiante e incierto, en aspectos relacionados con la tecnología de la información. Concebir una empresa innovadora exige considerarla como un sistema vivo, que evoluciona, es decir, se hace más complejo, o desaparece.

Su adaptación al entorno o, mejor aún, su control del mismo, le plantea la necesidad de construir una complejidad organizativa mayor y distinta, utilizando medidas de amplificación y reducción de complejidad que constituyen un variado conjunto guiado por un enfoque cibernético, aplicable al triángulo de relaciones complejas formado por la organización, los individuos y la tecnología.

Creemos haber mostrado cómo la aproximación de Keen insistiendo en un estado de simplicidad organizativa como resultado de la integración de tecnología nueva

de información es no sólo terminológicamente inadecuada, sino demasiado ingenua o sesgada, puesto que minimiza las dificultades del tránsito, igual que han hecho tradistas como Kahn, Toffler, Naisbitt y tantos otros.

Al tipo de complejidad necesaria lo hemos llamado metafóricamente complejidad C & C, o de cerebro completo, esto es, la complejidad viva (humana, como escribiría Mèlèse), que asume e integra lo racional y lo intuitivo, y también la tecnología de control y la tecnología de comunicación.

Un tipo de complejidad sólo sistémica o de control desarrolla una organización con puestos de trabajo bien definidos, procedimental, especializada e introspectiva. Multiplica las interacciones entre los elementos del sistema en un medio interior definido como determinista, por lo que crece desproporcionadamente el coste de control, como se demuestra incluso matemáticamente. A esta clase de complejidad algunos la llaman complicación. Es el germen de la burocracia, que a su vez es un blindaje contra el entorno y un antídoto contra la innovación.

Pensar en un sistema organizativo con menos puestos de trabajo, pero más ricos funcionalmente y enmarcados en un conjunto más aleatorio de interacciones variables —situación como hecha a la medida de la actual tecnología C & C— es pensar en una organización más orientada al entorno, más tolerante a los fallos, más arriesgada, más responsable, más cooperativa, menos fijada en el estatus personal, con alguna capacidad para crear orden a partir del desorden, con complejidad distribuida. Parece que este género de organización, de complejidad, de tecnología y de individuos es el que corresponde con la necesidad actual de innovación en las empresas.

## Bibliografía

1. SÁEZ VACAS, F.: *Ofimática compleja*, Fundesco, Madrid, 1991.
2. SÁEZ VACAS, F.: «A cybernetic theory about computer interfaces and human factors within a framework of technological innovation», *Sistémica*, vol. 2, núm. 2, 1991.
3. MÉLÈSE, J.: *Approches systémiques des organisations: vers l'entreprise à complexité humaine*, Ed. Hommes et Techniques, Suresnes, 1979.
4. KEEN, P. G. W.: *Shaping the future: Business design through information technology*, Harvard Business School Press, 1991.
5. BEER, S.: *Designing Freedom*, J. Wiley & Sons, Londres, 1991.
6. BEER, S.: *Diagnosing the System for Organizations*, J. Wiley & Sons, Chichester, 1985.
7. SÁEZ VACAS, F.: «Tecnologías de la información, ordenadores personales y p.i.p.c.», *BIT*, 11, 56, 1988.
8. SÁEZ VACAS, F.: «Facing informatics via three level complexity views», X international Congress on Cybernetics, Namur, Bélgica, pp. 30-40, 1983.
9. KLIR, G. J.: *Fuzzy sets, uncertainty and information*, Prentice-Hall International, 1988.
10. SÁEZ VACAS, F.: *Complejidad y tecnología de la información. Notas de curso, versión 1.0*, Instituto Tecnológico Bull, 1992.
11. CHECKLAND, P. : *Systems thinking, systems practice*, J. Wiley & Sons, Chichester, 1981.
12. SÁEZ VACAS, F. y MARTÍNEZ, A: *Manual de microinformática para directivos*, CDN, Madrid, 1990.
13. WINOGRAD, T. y FLORES, F.: *Understanding computers and cognition: a new foundation for design*, Addison-Wesley, Reading, Ma., 3ª edi., 1988 (existe traducción al español en Ed. Hispano Europea, Barcelona, 1989).
14. SCHEMLA, E. (entrevista): Umberto Eco en el almacén de la memoria, *El País, Suplemento Babelia*, 2-11-91.